

Regulating flow of natural gas, using turbocompressor in pipe network with bypass line with regulating valve

Patent number: DE19812159

Publication date: 1999-09-23

Inventor: RUEGER JOHANNES-JOERG (DE); PRACZYK JOERG (DE); SCHWANE ULF (DE); BERGHOFF MARTIN (DE); KIENDL HARRO (DE); POETZSCH STEFAN (DE); ADOMEIT BERNHARD (DE); STAUFENBIEL JOHANNES (DE); WACHENBERG BERND (DE)

Applicant: RUHRGAS AG (DE)

Classification:

- international: F17D3/01; G05D13/34; G05D13/66

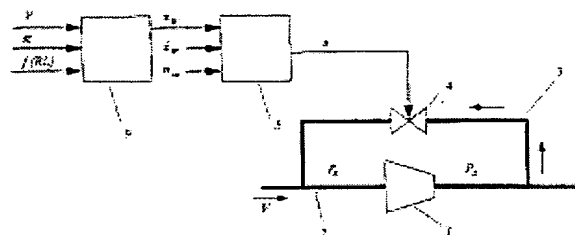
- european: G05B13/02C2

Application number: DE19981012159 19980320

Priority number(s): DE19981012159 19980320

Abstract of **DE19812159**

- The method involves feeding the deviation of the working point from a control line, the rate of change of the working point when approaching the control line and the revolution rate into a pumping prevention controller (5) as input parameters and processing all input parameters simultaneously according to a nonlinear control strategy depending on their validity. An Independent claim is also included for a regulator for regulating the flow of gas, especially natural gas, using a turbocompressor.





①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 12 159 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
F 17 D 3/01
G 05 D 13/34
G 05 D 13/66

②1 Aktenzeichen: 198 12 159.8
②2 Anmeldetag: 20. 3. 98
④3 Offenlegungstag: 23. 9. 99

⑦1 Anmelder:
Ruhrgas AG, 45138 Essen, DE

⑦2 Erfinder:
Adomeit, Bernhard, Dipl.-Ing., 44229 Dortmund, DE;
Berghoff, Martin, Dipl.-Ing., 45133 Essen, DE;
Staufenbiel, Johannes, Dipl.-Ing., 45138 Essen, DE;
Wachenberg, Bernd, Dipl.-Ing., 44287 Dortmund, DE;
Schwane, Ulf, Dipl.-Ing., 44267 Dortmund, DE;
Rüger, Johannes-Jörg, Dr.-Ing., 71665 Vaihingen, DE;
Kiendl, Harro, Prof. Dr.rer.nat., 58452 Witten, DE;
Pötzsch, Stefan, Dipl.-Ing., 76187 Karlsruhe, DE;
Praczyk, Jörg, Dipl.-Ing., 49477 Ibbenbüren, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

| | |
|----|--------------|
| DE | 43 21 604 A1 |
| DE | 40 11 118 A1 |
| DE | 34 47 471 A1 |
| DE | 33 14 143 A1 |
| DE | 38 50 755 T2 |
| GB | 12 67 590 |
| US | 45 26 513 |
| US | 42 73 508 |
| EP | 02 23 207 B1 |
| EP | 01 75 445 B1 |
| EP | 07 69 624 A1 |

HAMELL, Eric: The Industry, Compressor Control: Surging Ahead. In: InTech, Dec. 1982, S.9, 11, S.12, 15, 16;

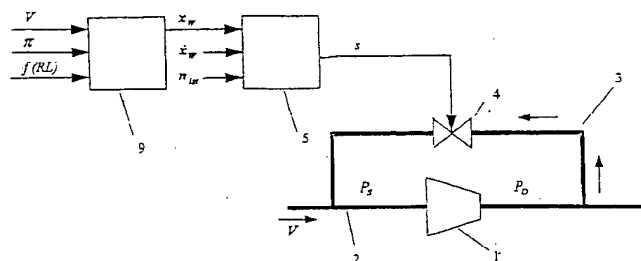
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zum Regeln des Volumenstroms von Gas, insbesondere Erdgas, durch einen Turboverdichter

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln des Volumenstroms von Gas, insbesondere Erdgas, durch einen Turboverdichter, der in ein Leitungsnetz eingebunden ist. Der Turboverdichter wird zur Gasrückgewinnung von einer Bypassleitung umgangen, die ein Regelventil enthält. Eine Pumpverhütungsregelung erzeugt ein Stellsignal für das Regelventil, wobei die Pumpverhütungsregelung in Abhängigkeit von der Position des Arbeitspunktes, bezogen auf eine Regellinie arbeitet, die im Kennfeld des Turboverdichters in Abhängigkeit zum Verlauf der Pumpgrenze festgelegt ist.

Erfindungsgemäß wird der Pumpverhütungsregelung als Eingangsgrößen die Abweichung des Arbeitspunktes von der Regellinie, die Änderungsgeschwindigkeit des Arbeitspunktes bei Annäherung an die Regellinie und die Drehzahl zugeführt. Alle Eingangsgrößen werden in Abhängigkeit von ihrer Wertigkeit zeitgleich nach einer nichtlinearen Regelstrategie verarbeitet.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine verbesserte Nutzung des möglichen Arbeitsbereichs des Verdichters bei gleichzeitig erhöhtem Schutz des Verdichters vor Ausfall oder Beschädigung durch Pumpen.



DE 198 12 159 A 1

DE 198 12 159 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Hauptanspruches. Ferner betrifft die Erfindung eine Regeleinrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Ein Erdgas-Leitungsnetz beinhaltet in der Praxis mehrere Verdichterstationen, die dazu dienen den Gasfluß zu regeln, wobei in die Regelung die Abweichungen des Volumenstroms, des Eintrittsdrucks, des Austrittsdrucks und der Austrittstemperatur von ihren Soll- und/oder Grenzwerten als Regelgrößen eingehen. In der Regel werden in einer Verdichterstation mehrere Verdichter, in der Regel Turboverdichter, parallel oder seriell betrieben.

Die Stationsregelung erzeugt für alle installierten Verdichter einen summarischen Leistungssollwert. Dieser Wert dient als Eingangsgröße für eine sog. Gruppenregelung, die für die einzelnen Verdichter Drehzahl-Sollwertverläufe erzeugt.

In bestimmten Betriebssituationen könnte die strikte Einhaltung der Sollwertverläufe den Volumenstrom durch die einzelnen Verdichter so sehr reduzieren, daß durch Strömungsabriß eine Beschädigung des Erdgas-Verdichters auftreten kann. Dieses unerwünschte Pumpen von Verdichtern tritt auf, wenn der Volumenstrom durch den Verdichter in Abhängigkeit vom Verhältnis des Austrittsdrucks bzw. Enddrucks zum Eintrittsdruck bzw. Saugdruck, d. h. wenn der hierdurch bestimmte Arbeitspunkt unter einen Grenzwert, im folgenden Pumpgrenze genannt, absinkt. Insbesondere schnelle Reduzierungen der Verdichterdrehzahl führen zu einer schnellen Annäherung des Arbeitspunktes im Verdichterkennfeld an die Pumpgrenze, da dann das Druckverhältnis aus Austrittsdruck und Eintrittsdruck zunächst näherungsweise konstant bleibt und bereits kleine Drehzahlverringerungen den Volumenstrom stark reduzieren.

Die Pumpverhütungsregelung soll das Pumpen vermeiden, indem die Regelung das Regelventil in der Bypass-Leitung situationsabhängig so regelt, daß in bestimmten Betriebssituationen der Volumenstrom durch den Verdichter oberhalb des kritischen durch die Pumpgrenze vorgegebenen Niveaus gehalten wird. Gleichzeitig kann der Volumenstrom in der angeschlossenen druckseitigen Leitung dieses Niveau unterschreiten.

Die Funktion der Pumpverhütungsregelung wird in der Praxis durch folgende Restriktionen und Nebenbedingungen eingeschränkt: Die Öffnungs- und Schließgeschwindigkeit des in der Bypass-Leitung installierten Regelventils sind begrenzt. Weiterhin darf die Temperatur des durch den Verdichter geleiteten Gases aus Gründen der Materialfestigkeit gewisse Grenzwerte nicht überschreiten. Durch die Verdichtung erhöht sich die Gastemperatur. Zwar erfährt das über die Bypass-Leitung zurückströmende Gas durch die Expansion am Regelventil eine Abkühlung, seine Temperatur ist aber dennoch höher, als die Gastemperatur in der eingeangsseitigen Transportleitung. Durch die Gasrückführung mischen sich beide Gasströme, so daß sich die Eintrittstemperatur des Verdichters solange ständig erhöht, wie das Bypass-Ventil geöffnet ist.

Bekannte Pumpverhütungsregelungen können in aktive und passive Verfahren unterteilt werden. Aktive Regelungen detektieren einsetzende Druckschwankungen anhand des Verlaufs eines geeigneten Signals und damit den Beginn des Pumpens des Verdichters. Daraufhin leiten die Regelungen Maßnahmen ein, die dem Pumpen entgegenwirken. Der Pumpbeginn muß über den Verlauf eines geeigneten Signals online detektiert werden. Die Pumpverhütungsregelung kann daher erst eingreifen, wenn die On-line-Detektion den Pumpbeginn erkannt hat, nicht aber bereits zuvor im Sinne einer Prävention.

Das Signal, das für die On-line-Detektion verwendet wird, muß dafür geeignet sein, den Pumpbeginn zuverlässig auch dann bestimmen zu können, wenn das Signal verwechselt oder durch sonstige Störungen verfälscht ist. Ferner muß es dafür geeignet sein, den Pumpbeginn so frühzeitig wie möglich bestimmen zu können, um einen schnellen Eingriff zu ermöglichen, da sich die Störungen innerhalb weniger Rotordrehungen zu einem vollständigen Strömungsabriß ausweiten können.

Die Gegenmaßnahmen müssen so schnell erfolgen, daß bei erkanntem Pumpbeginn das Pumpen noch sicher vermieden werden kann.

Aufgrund der mit diesen Nachteilen verbundenen Schwierigkeiten kommen aktive Pumpverhütungsregelungen für Erdgas-Verdichter in der Praxis kaum zum Einsatz.

Passive Regelungen basieren auf der Festlegung einer Regellinie im Verdichterkennfeld, die gegenüber der ermittelten Pumpgrenze in Richtung höherer Volumenströme verschoben ist. Die Pumpverhütungsregelung enthält einen linearen Pumpverhütungsregler, der z. B. als PI-Regler ausgebildet ist. Die Pumpverhütungsregelung arbeitet in Abhängigkeit von der Position des Arbeitspunktes bezogen auf die Regellinie. Sobald die Regellinie überschritten ist, öffnet der Pumpverhütungsregler das Regelventil und Gas strömt von der Druckseite auf die Saugseite des Verdichters zurück, so daß sich das Druckverhältnis aus Austrittsdruck zu Eintrittsdruck verringert und sich der Volumenstrom vergrößert. Der Abstand des Arbeitspunktes des Verdichters von der Pumpgrenze erhöht sich dadurch. Dieses Regelverfahren hat strukturbedingt folgende Nachteile:

Die Ausgangsgröße der Pumpverhütungsregelung stellt erst dann einen von Null verschiedenen Wert dar, wenn die Regellinie überschritten wird. Erst dann öffnet das Regelventil. Um das Erreichen der Pumpgrenze sicher zu vermeiden, muß der Abstand der Regellinie von der Pumpgrenze ausreichend groß gewählt werden. Dies führt zu einem frühen Eingriff in die Dynamik des Gesamtsystems und einem frühen Öffnen des Regelventils, verbunden mit dem Rückströmen eines Teils des Erdgases von der Druck- auf die Saugseite des Verdichters.

Die Pumpverhütungsregelung bewirkt, daß der Arbeitspunkt an der Regellinie ausgeregelt wird. Bei einem großen Abstand der Regellinie von der Pumpgrenze ist für den Betreiber nur ein eingeschränktes Kennfeld nutzbar.

Die Stationsregelung muß langsamer ausgelegt werden, als im Mittel notwendig wäre, damit die Drehzahl-Sollwerte auch bei großen Regelabweichungen nicht zu schnell abgesenkt werden und die Pumpverhütungsregelung das Erreichen der Pumpgrenze sicher vermeiden kann. Die Stationsregelung reagiert daher aber in Betriebssituationen in denen der Arbeitspunkt einen großen Abstand von der Pumpgrenze aufweist, erheblich langsamer auf Sollwertänderungen, als dies möglich und wünschenswert wäre.

Aufgabe der Erfindung ist es demgemäß, ein gattungsgemäßes Verfahren zu schaffen mit dem in allen Betriebssituationen der Volumenstrom durch den Turboverdichter oberhalb der durch die Pumpgrenze vorgegebenen Werte geregelt wird, derart, daß ein Pumpen des Verdichters sicher verhindert wird, und zwar unter Bereitstellung eines großen Arbeitsbereiches des Verdichters. Außerdem soll bei Turboverdichtern in einer Verdichterstation das dynamische Verhalten in Betriebssituationen, in denen der Volumenstrom durch die einzelnen Verdichter ausreichend groß ist, möglichst nicht beeinflusst werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Hauptanspruch aufgeführten kennzeichnenden Merkmale gelöst.

Diese Lösung hat den Vorteil, daß ein zu starkes Absinken

des Volumenstroms durch einen Turboverdichter und damit das unerwünschte Pumpen sicher verhindert wird.

Das Ausgangssignal der Pumpverhütungsregelung öffnet das Regelventil im Unterschied zu bekannten Pumpverhütungsregelungen bereits bei Annäherung an die Regellinie, d. h. vor ihrem Überschreiten in der Regel mit nahezu maximaler Geschwindigkeit. Dies erhöht den Schutz vor Verdichterausfall aufgrund zu großer Annäherung an die Pumpgrenze. Ferner bewirkt das schnelle und bereits präventive Öffnen des Regelventils eine drastische Verringerung des Überschwingens über die Regellinie in allen relevanten Betriebssituationen, so daß der Abstand der Regellinie von der Pumpgrenze erheblich verringert werden kann. Damit vergrößert sich der nutzbare Arbeitsbereich im Verdichterkennfeld.

Das Regelventil wird durch die nichtlineare Regelstrategie bzw. dem Algorithmus, nach der die Pumpverhütungsregelung arbeitet, im Bedarfsfall sehr schnell geöffnet. Dies führt zu einem schnellen Erreichen eines erneuten stabilen Arbeitspunktes und einem vollständigen Schließen des Regelventils. Insbesondere kann durch die Berücksichtigung der Änderung des Abstandes des Arbeitspunktes von der Regellinie besser auf schnelle Bewegungen in Richtung auf die Pumpgrenze reagiert werden. Durch die Berücksichtigung der Drehzahl kann der Algorithmus derart angepaßt werden, daß bei höheren Drehzahlen das Regelventil tendenziell schneller geöffnet wird.

Die Gasmenge, die über die Bypass-Leitung auf die Saugseite des Turboverdichters zurückströmt, wird durch dieses Verfahren minimiert.

Das Erreichen der Pumpgrenze wird auch bei schnellen Arbeitspunktbewegungen, wie sie bei großen Regelabweichungen in der Stationsregelung auftreten können, insbesondere, wenn diese schnell ausgelegt ist, sicher vermieden. Ferner wird das Überschwingen über die Regellinie vermieden, so daß deren Abstand von der Pumpgrenze möglichst klein gehalten werden kann.

Eine Weiterbildung der Erfindung betrifft die Regelung des Volumenstroms von Gas, insbesondere Erdgas, durch mindestens einen Turboverdichter in einer Verdichterstation, die eine Stationsregelung und eine Gruppenregelung aufweist, wobei die Stationsregelung einen summarischen Leistungssollwert erzeugt, der als Eingangsgröße der Gruppenregelung zugeführt wird. Erfindungsgemäß erzeugt eine Abstimmungsregelung bei Annäherung des Arbeitspunktes an die Regellinie eine maximal zulässige Absenkungsgeschwindigkeit der jeweiligen Drehzahl, die als Eingangsgröße in die Stations- oder Gruppenregelung eingeht. Der Abstimmungsregelung wird als Eingangsgröße die Abweichung des aktuellen Arbeitspunktes von der Regellinie zugeführt.

Die Abstimmungsregelung läßt bei Annäherung des Arbeitspunktes an die Regellinie eine Verringerung der Drehzahl und eine damit verbundene Verringerung des Volumenstroms durch den Verdichter nur maximal in einem Maße zu, wie diese Verringerung durch eine Erhöhung des Volumenstromes durch den Verdichter durch eine Öffnung des Pumpverhütungsventils kompensiert werden kann. Das dynamische Verhalten der Verdichterstation in Betriebssituationen, in denen der Volumenstrom durch die einzelnen Verdichter ausreichend groß ist, wird kaum beeinflusst.

Die Stations- und die Gruppenregelung können mit der Pumpverhütungsregelung abgesümmt werden, so daß vermieden wird, daß es bei großen Regelabweichungen zu so schnellen Bewegungen im Verdichterkennfeld kommt, daß die Pumpverhütungsregelung ein Erreichen der Pumpgrenze nicht vermeiden kann.

Die maximal zulässige Änderungsgeschwindigkeit bei

Verringerung der Verdichterdrehzahl wird mit kleiner werdendem Abstand des Arbeitspunktes von der Regellinie betragsmäßig immer weiter verringert, so daß der Arbeitspunkt ohne Überschwingen über die Regellinie ausgeregelt werden kann.

Die Dynamik der Stations- und Gruppenregelung kann unabhängig von den Belangen der Pumpverhütung frei gewählt und daher gegenüber konventionellen Regelungen deutlich erhöht werden, da die Abstimmungsregelung zu einer Entkopplung der beiden Regelungsaufgaben führt.

Vorteilhafterweise wird die Abweichung des Arbeitspunktes von der Regellinie in einem Rechenmodul nach einer nichtlinearen Strategie berechnet, d. h. nach einer analytischen Formel oder basierend auf Heuristiken durch ein Fuzzy-Verfahren bestimmt. Dem Rechenmodul werden als Eingangsgrößen der Volumenstrom, das Verhältnis vom Austrittsdruck und Eintrittsdruck sowie die Lage der Regellinie im Verdichterkennfeld zugeführt. Es wird vorzugsweise der waagerechte Abstand benutzt, da die Kennlinien konstanter Drehzahl an der Regellinie näherungsweise waagerecht verlaufen.

Vorzugsweise werden der Stationsregelung als Eingangsgrößen die Abweichungen des Volumenstroms, des Eintrittsdrucks, des Austrittsdrucks und der Austrittstemperatur von ihren Soll- und/oder Grenzwerten sowie die Änderungsgeschwindigkeit dieser Eingangsgrößen zugeführt. Alle Eingangsgrößen werden in Abhängigkeit von ihrer Wertigkeit zeitgleich nach einer nicht linearen Regelstrategie verarbeitet.

Die Erfindung betrifft ferner eine Regeleinrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Regeleinrichtung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Pumpverhütungsregelung und/oder die Stationsregelung zur zeitgleichen nichtlinearen Verarbeitung aller Eingangsgrößen in Abhängigkeit von ihrer Wertigkeit einen Fuzzy-Regler aufweist bzw. aufweisen.

Der Fuzzy-Regler kann auch als zweisträngiger Fuzzy-Regler zur Verarbeitung von sowohl positiven als auch negativen Regeln unter optionaler Verwendung eines Inferenzfilters ausgebildet sein.

Eine bevorzugte Weiterbildung ist dadurch gekennzeichnet, daß der Fuzzy-Regler als Fuzzy-PI-Regler ausgebildet ist, der ein Fuzzy-Modul, ein nachgeschaltetes Proportionalglied und einen nachgeschalteten Integrierer aufweist.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert.

Die Zeichnung zeigt in:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Turboverdichters mit einer Bypass-Leitung und Pumpverhütungsregelung;

Fig. 2 ein Verdichterkennfeld;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Stationsregelung;

Fig. 4 eine andere Ausführungsform einer Stationsregelung;

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Stations- und Gruppenregelung.

In Fig. 1 ist ein Turboverdichter 1 schematisch dargestellt, der in eine Erdgas-Leitung 2 eingebunden ist. Eine Bypass-Leitung 3, die ein Regelventil 4 enthält, verläuft parallel zum Turboverdichter. Die Bypass-Leitung 3 dient zur Gasrückführung. Eine Pumpverhütungsregelung 5 erzeugt ein Stellsignal für das Regelventil 4. Der Pumpverhütungsregelung 5 werden als Eingangsgrößen die Abweichung x_w des Arbeitspunktes von der Regellinie, die Änderungsgeschwindigkeit \dot{x}_w des Arbeitspunktes bei Annäherung an die Regellinie und die Drehzahl n_{ist} zugeführt. Alle

Eingangsgrößen werden in Abhängigkeit von ihrer Wertigkeit zeitgleich nach einer nichtlinearen Regelstrategie verarbeitet. Die Abweichung x_w des Arbeitspunktes von der Regellinie wird in einem Rechenmodul 9 nach einer nichtlinearen Strategie berechnet. Dem Rechenmodul 9 werden als

Eingangsgrößen der Volumenstrom V , das Verhältnis Π von Austrittsdruck P_D und Eintrittsdruck P_S und die Lage der Regellinie $f(RL)$ im Verdichter kennfeld zugeführt. Fig. 2 zeigt ein typisches Verdichterkennfeld. Dargestellt sind die Kennlinien minimaler bzw. maximaler Drehzahlen n_{\min} bzw. n_{\max} . Ferner ist die Begrenzung des zulässigen Arbeitsbereiches nach links durch die Pumpgrenze PG und die etwa parallel dazu angeordnete Regellinie RL dargestellt. Auf der Abszisse ist der Volumenstrom V durch den Turboverdichter, auf der Ordinate das Verhältnis Π von Austrittsdruck und Eintrittsdruck aufgetragen.

Als Abszisse und Ordinate des Verdichterkennfeldes können auch andere Größen verwendet werden. Die prinzipielle Wirkungsweise des Verfahrens ist dadurch unberührt.

Fig. 3 zeigt eine Stationsregelung. Das Eingangsmodul 6 dient zur Aufbereitung und Verarbeitung der diversen Eingangsgrößen und liefert einen Wert e , der vom Regler 7, und zwar einem PI-Regler weiterverarbeitet wird. In einer Abstimmungsregelung 8 wird bei Annäherung des Arbeitspunktes an die Regellinie eine maximal zulässige Absenkungsgeschwindigkeit z der jeweiligen Drehzahl erzeugt, wobei der Abstimmungsregelung als Eingangsgröße die Abweichung x_w des aktuellen Arbeitspunktes von der Regellinie zugeführt wird. Die Abweichung x_w des Arbeitspunktes von der Regellinie wird, wie in Fig. 1 beschrieben, in dem Rechenmodul 9 nach einer nichtlinearen Strategie berechnet.

Fig. 4 zeigt eine andere Ausführungsform einer Stationsregelung. Ein Modul 10 erzeugt eine Ausgangsgröße d , die einer Sollwertänderung der summarischen Verdichterleistung entspricht und von einem Integrierer 11 zu einem summarischen Leistungssollwert e_B weiterverarbeitet wird. In den Integrierer 11 geht als Eingangsgröße die maximal zulässige Änderungsgeschwindigkeit z aus der Abstimmungsregelung 8 ein, wodurch der untere Grenzwert für die Eingangsgröße des Integrierers vorgegeben wird.

Fig. 5 zeigt das Ausführungsbeispiel einer Gruppenregelung. Dargestellt ist lediglich eine Einzelregelung, die für einen von mehreren Verdichtern einer Verdichterstation zuständig ist. Als Eingangsgröße geht der summarische Drehzahlsollwert e_B ein, der in der Gruppenregelung 12 mit der bisherigen Soll-drehzahl verglichen wird. Die Differenz beider wird betragsmäßig begrenzt und anschließend integriert. Über die Abstimmungsregelung 8 wird die maximal zulässige Absenkungsgeschwindigkeit z der Drehzahl z ermittelt und der Gruppenregelung als Eingangsgröße zugeführt. Dadurch wird eine noch stärkere Begrenzung für die Änderungsgeschwindigkeit bei einer Drehzahlverringerung vorgegeben.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln des Volumenstroms von Gas, insbesondere Erdgas, durch mindestens einen Turboverdichter, der in ein Leitungsnetz eingebunden ist und der zur Gasrückführung von einer Bypass-Leitung umgangen wird, die ein Regelventil enthält, mit einer Pumpverhütungsregelung, die ein Stellsignal für das Regelventil erzeugt, wobei die Pumpverhütungsregelung in Abhängigkeit von der Position des Arbeitspunktes bezogen auf eine Regellinie arbeitet, die im Kennfeld des Turboverdichters in Abhängigkeit zum Verlauf der Pumpgrenze festgelegt ist, dadurch gekennzeichnet,

kennzeichnet,

a) daß der Pumpverhütungsregelung als Eingangsgrößen die Abweichung des Arbeitspunktes von der Regellinie, die Änderungsgeschwindigkeit des Arbeitspunktes bei Annäherung an die Regellinie und die Drehzahl zugeführt werden und

b) daß alle Eingangsgrößen in Abhängigkeit von ihrer Wertigkeit zeitgleich nach einer nichtlinearen Regelstrategie verarbeitet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, zum Regeln des Volumenstroms von Gas, insbesondere Erdgas, durch mindestens einen Turboverdichter in einer Verdichterstation, die in ein Leitungsnetz eingebunden ist, die eine Stationsregelung und eine Gruppenregelung aufweist, wobei die Stationsregelung einen summarischen Leistungssollwert erzeugt, der als Eingangsgröße der Gruppenregelung zugeführt wird, die für den Turboverdichter einen Drehzahl-Sollwertverlauf erzeugt, dadurch gekennzeichnet, daß eine Abstimmungsregelung bei Annäherung des Arbeitspunktes an die Regellinie eine maximal zulässige Absenkungsgeschwindigkeit der jeweiligen Drehzahl erzeugt, die als Eingangsgröße in die Stations- oder Gruppenregelung eingeht und daß der Abstimmungsregelung als Eingangsgröße die Abweichung des aktuellen Arbeitspunktes von der Regellinie zugeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abweichung des Arbeitspunktes von der Regellinie in einem Rechenmodul nach einer nichtlinearen Strategie berechnet wird und daß dem Rechenmodul als Eingangsgrößen der Volumenstrom und das Verhältnis von Austrittsdruck und Eintrittsdruck sowie die Lage der Regellinie im Verdichterkennfeld zugeführt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Stationsregelung als Eingangsgrößen die Abweichungen des Volumenstroms, des Eintrittsdrucks, des Austrittsdrucks und der Austrittstemperatur von ihren Soll- und/oder Grenzwerten sowie die Änderungsgeschwindigkeiten dieser Eingangsgrößen zugeführt werden und daß alle Eingangsgrößen in Abhängigkeit von ihrer Wertigkeit zeitgleich nach einer nicht linearen Regelstrategie verarbeitet werden.

5. Regeleinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Pumpverhütungsregelung und/oder die Stationsregelung zur zeitgleichen, nichtlinearen Verarbeitung aller Eingangsgrößen in Abhängigkeit von ihrer Wertigkeit einen Fuzzy-Regler aufweist bzw. aufweisen.

6. Regeleinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Fuzzy-Regler als zweisträngiger Fuzzy-Regler zur Verarbeitung von sowohl positiven als auch negativen Regeln unter optionaler Verwendung eines Inferenzfilters ausgebildet ist.

7. Regeleinrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Fuzzy-Regler als Fuzzy-PI-Regler ausgebildet ist, der ein Fuzzy-Modul, ein nachgeschaltetes Proportional-Glied und einen nachgeschalteten Integrierer aufweist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

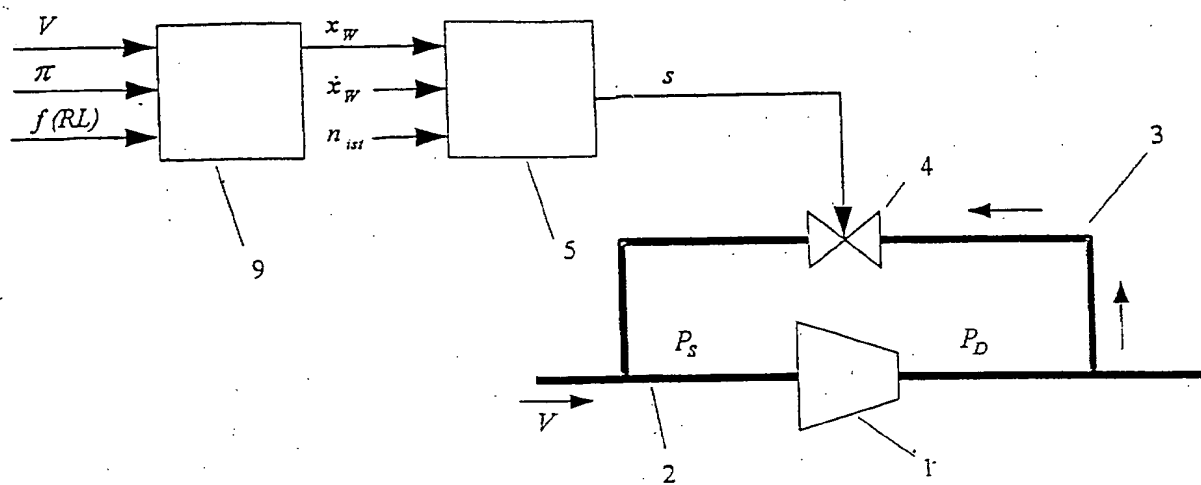


Fig. 1

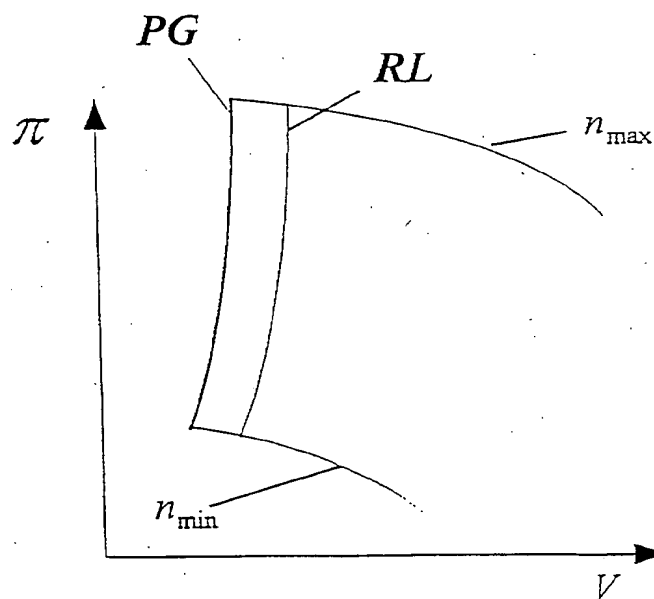


Fig. 2

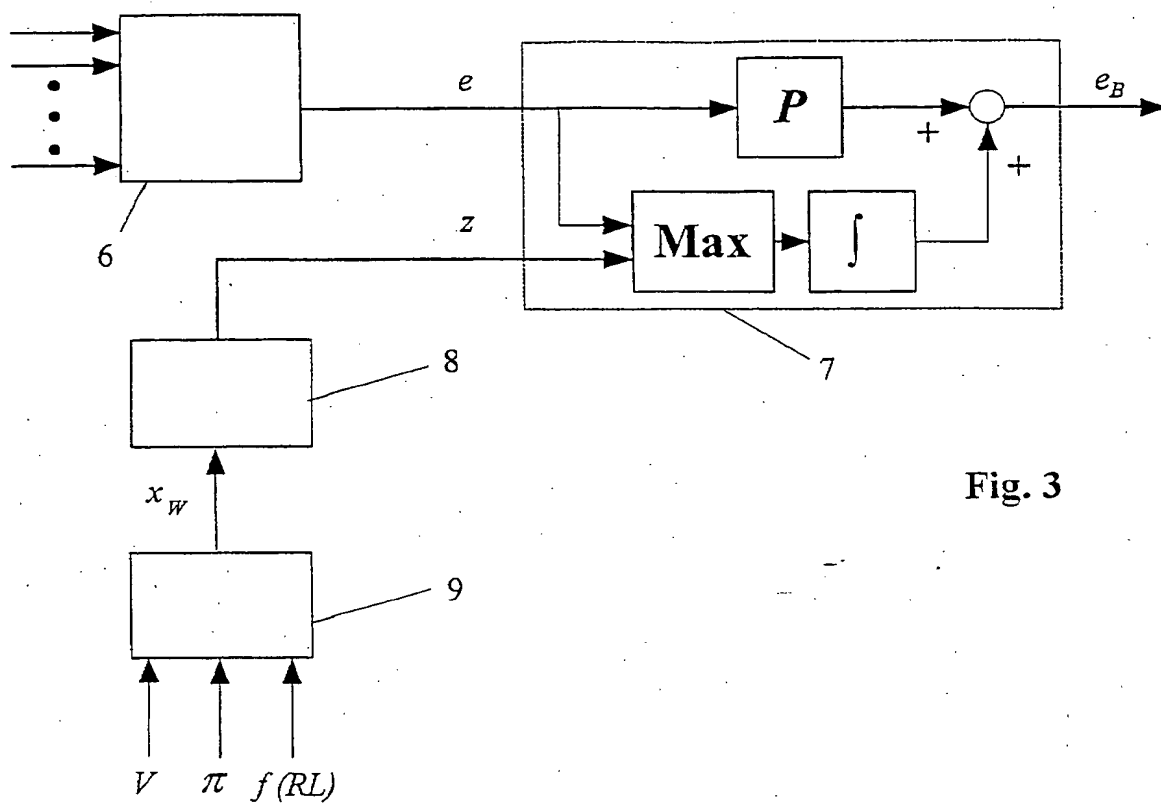


Fig. 3

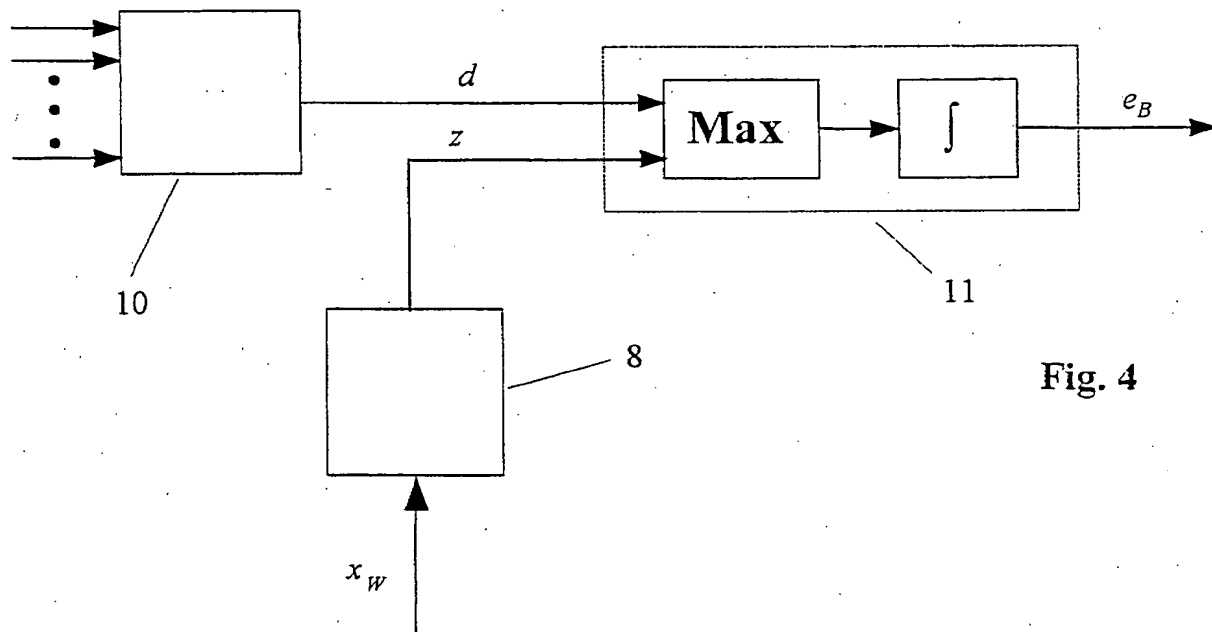


Fig. 4

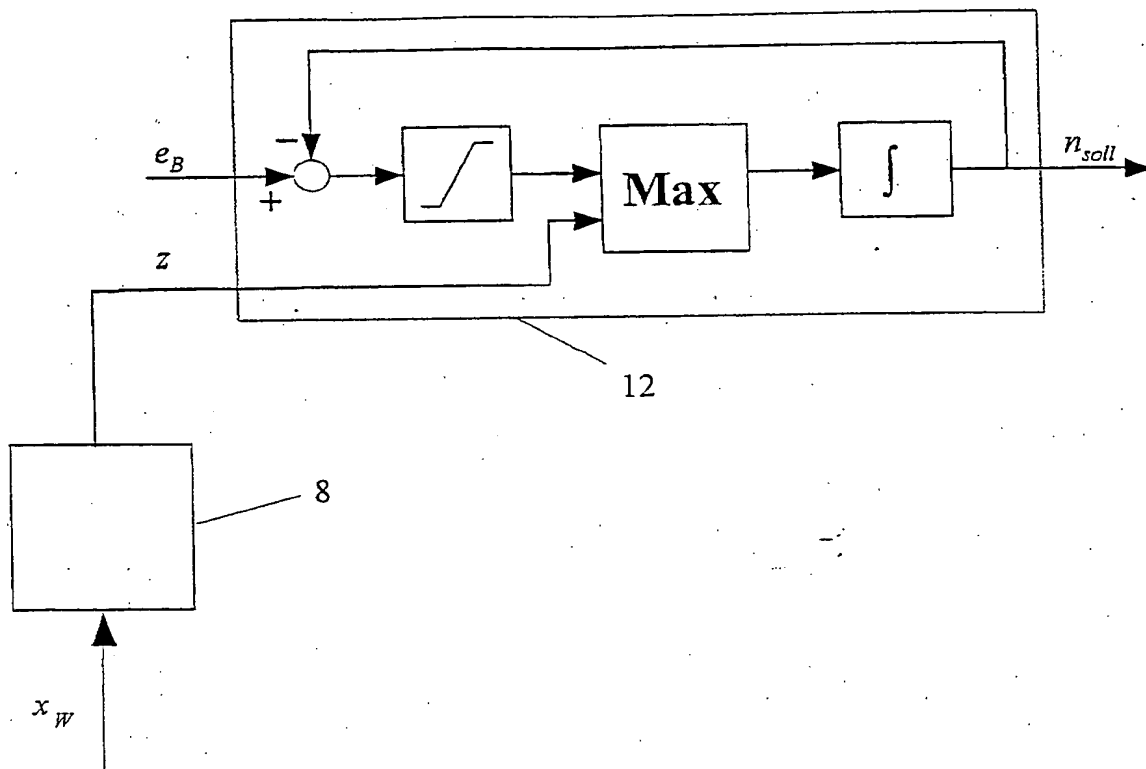


Fig. 5